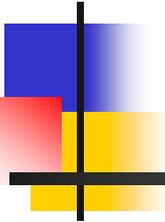
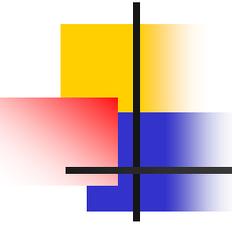


標準委員会セッション2 (原子力安全検討会・分科会)

原子力安全確保のための深層防護の具体的適用の考え方

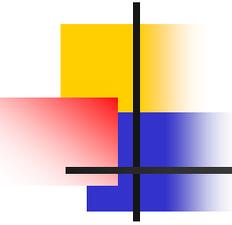


深層防護実装の有効性評価



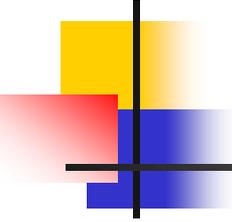
深層防護の概念

- 深層防護とは、不確かさへの備えとして、多数多種の防護策を組み合わせることで、全体として防護の信頼性をできるだけ向上させる概念である。
 - この概念をどのように展開、すなわちプラントへ適用すれば良いのか?→実装



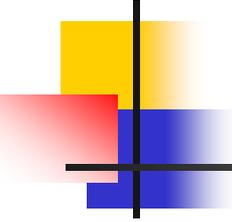
深層防護の概念と実装

- 深層防護には「概念」と「実装」の二つの側面があり、「概念」については、おおむね共通理解が得られているように思われるが・・・？
- 議論の対象になっているのは、深層防護を実際に適用する際の問題、つまり「実装」の違い、では
- 深層防護の実装は、様々な形態を取りえると考えてよいのではないか。つまり、唯一無二の「正解」はない。
- すなわち、レベルの数や、各レベルがどのような役割を果たすか自体は、本質的な問題ではない



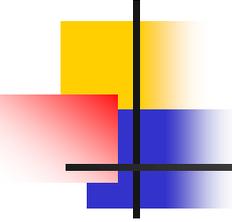
深層防護の概念と実装

- そうすると、深層防護の「実装」の「良し悪し」をどのように議論すべきか？
- 深層防護は、原子力安全を実現することが目的であることから、実装された深層防護の有効性を検証するための考え方や方法(有効性評価)が重要である
 - カール・ホパーの反証可能性に則った考え方
 - これにより、「哲学論争」を回避できる
- また、深層防護は、原子力安全を達成するための手段であることから、深層防護を適用(実装)するための具体的な手順を確立する必要がある
 - これにより、深層防護を実際のプラント設計に活用することができる。



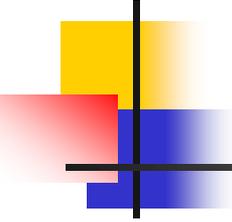
深層防護の基本的な実装方針

- 複数の防護の目的(防護レベル、守るべきもの)を設定
- 防護の目的を達成するため(防護レベルを突破されないため)の防止策と緩和策を設定
- 異なった防護レベル間の防止策・緩和策は独立性を有するように設定する。
 - ここでの「独立性」は、従来の「多重性・多様性・独立性」と同一の意味合いではないと思われる。
- 以上のことから、深層防護全体として、原子力安全の目的を達成する



実装手順の一例

- 原子力安全の目的から出発し、具体的な設備設計、対応手順、設備・運転管理などに落とし込める段階まで防護の目的をサブ目的に分解する手順を繰り返す。
 - 5層のレベルごとに順に実装を考えるフォアキャストに基づくのではなく、達成すべき最終的な目的から出発して防護レベルを設定するバックキャストに基づく考え方
 - サブ目的への分解に際しては、オブジェクティブ・ツリーなどの方法を用いることが考えられる。
 - サブ目的に対して、防止策・緩和策を設定
 - サブ目的の防止策・緩和策は他のサブ目的の防止策・緩和策と独立性を有するように選ぶべき



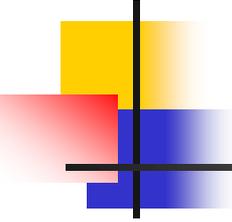
実装手順の一例

- サブ目的毎に達成すべき信頼度を性能目標、設計基準、評価基準などの形で表し、有効性評価を通じて、これらの目標や基準を達成するように設備設計、対応手順の設定、設備・運転管理などを行う
- 具体的な防護策の選定については、以下の点を考慮した包絡的かつバランスの取れた意思決定プロセスを踏む必要がある。
 - 深層防護レベル間の独立性
 - 技術的成熟度
 - 技術的困難さ
 - 人的因子の介在度合
 - 品質保証
 - 有効性評価結果
 - 工期、コスト・・・

防護のサブ目的の選択肢と性能目標

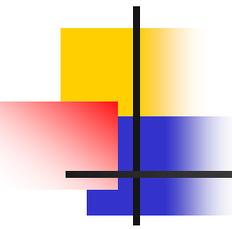
- 原子力安全の目的を達成するためのより具体的な目標が安全目標
- 安全目標を達成するためのサブ目的を性能目標の形で表す
 - 放射性物質の有意(significant)な放出の防止
 - 土地汚染の防止
 - サイト内での放射性物質閉じ込め
 - 平常時の放射性物質放出量制限
 - 事故時の放射性物質放出量制限
 - 格納容器内での閉じ込め:CFF
 - 原子炉容器内での閉じ込め:IVRF(In-Vessel Retention Fraction)
 - 炉心損傷防止:CDF
 - 設計基準事象からの逸脱防止
 - 燃料被覆管内での閉じ込め(運転時の異常な過渡事象からの逸脱防止)
 - 通常運転からの逸脱防止
- 上記のサブ目的候補の指標に加えて、管理、運転、さらに防災をカバーする指標も必要と考えられる。
 - 例えば、防災については、事故進展の時間的ファクターを入れた指標など

サブ目的の候補
の一例



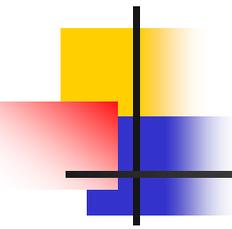
深層防護の評価

- 有効性
 - 性能目標への適合度
- 適切さ
 - 有効性に加え、レベル間の独立性、技術的困難さ、技術的成熟度、人的因子の介在度合い、品質保証など多様な観点を総合的に評価



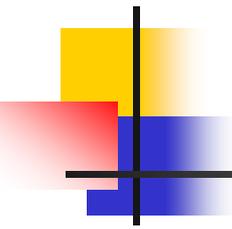
深層防護の有効性評価： サブ目的毎の評価

- サブ目的毎に性能目標・設計基準・評価基準などへの適合度を評価する手法を選定する
 - サブ目的毎に適合度評価を実施し、性能を評価する
 - この段階では、特定のサブ目的に着目した性能評価
 - 旧安全設計審査指針において、機器毎の信頼性・適合性を確認したのと同じ考え方
 - サブ目的ごとに用いることができる適合度の評価手法の例
 - 決定論的手法
 - PRA
- これらの手法が果たす役割は、適合度の評価対象とする深層防護レベルによって変化する。



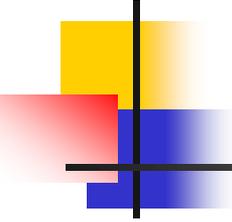
深層防護の有効性評価： 総体としての評価(1)

- PRAを実施し、全ての事故シーケンスについて、深層防護により安全目的が達成されていることを確認する
- 決定論的と確率論的の違いはあるが、旧安全評価指針により、プラント全体としての信頼度を確認したのと同じ考え方
- あるサブ目的を達成するための機器・手順・管理は、全てのシーケンスに対して同一である必要はなく、シーケンス毎に異なる可能性がある。
- 逆に、ある機器・手順・管理に着目した場合、シーケンス毎に違うサブ目的に対する防止策、あるいは緩和策に用いられる可能性がある



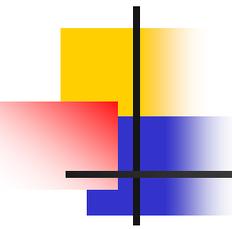
深層防護の有効性評価： 総体としての評価(2)

- あるシーケンスに着目したとき、サブ目的の数が多く、サブ目的を達成するための対策の独立性が相互に高い場合、そのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなる
- あるシーケンスに着目したとき、深層防護レベルの数が少なくても、それぞれのサブ目的を達成する策の信頼度が十分に高ければ、同様にそのシーケンスに対する深層防護の有効性は高くなる。
- なお、シーケンス毎にサブ目的の数は変動する可能性があるが、特定の防護レベルに極端に依存することは、不確かさへの対処の観点から不適切である。



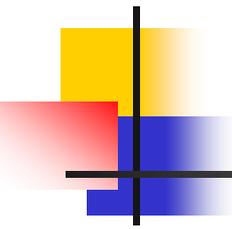
防護レベルの適切さの評価(1)

- 各防護レベルの信頼性
 - それぞれのレベルで最善を尽くすことで、全体としての効果が向上することが期待される
 - 設備および運用・管理の両面からの取り組みが必要
 - 確固たる安全文化、継続的改善活動、運転経験に学ぶ活動



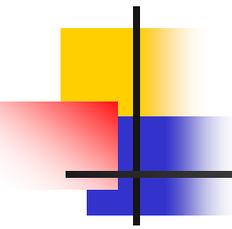
防護レベルの適切さの評価(2)

- 各防護レベルの独立性
 - ある防護レベルにおける設計、機能、対策等が、他の防護レベルのそれらにとって障害とならないようにする(従属的な機能失敗とならないこと)
 - 全く異なる取り組み(例えば、ハード面でなくソフト面)が有効
 - 各防護レベルの独立性は、従来の「多重性・多様性・独立性」の要求とは区別して考えるべきでは
 - 防護レベルの設定の仕方によっては、独立な効果を発揮できなくなる場合がある



防護レベルの適切さの評価(3)

- 防護レベルのバランス
 - 各レベルが適切な厚みを持ち、各レベルの防護策がバランスよく講じられ、あるレベルの防護策に負荷が集中しないことが重要
 - あるレベルの防護策に過度に依存することは、不確かさへの備えにならず、不適切。
 - そのレベルが突破されると深層防護全体として防護が失敗することになる
- 防護レベルでの不確かさへの対処
 - 人と環境への放射線リスクを完全にゼロにすることはできず、さらに、リスクを完全に把握して厳密に定量化することは不可能
 - 想定する条件に対して裕度を確保することによって、想定を超える条件に対しても頑健性が期待できるようにする



防護レベルの適切さの評価(4)

- その他の留意すべき事項
 - 各防護レベルは個別のハードウェアと直接的に対応するものではない
 - リスクトリプレットに基づき判断を行い、リスク定量化のための努力を継続し、合理的に実行可能な対策を検討することが重要である
 - 施設の特性に加えてリスクの内容や程度など、施設に想定される脅威や程度によって、防護レベルの分け方や内容を設定することが適切である
 - すべての施設に共通な深層防護レベルの設定方法はない

一つの実装および有効性評価の方法

性能要求

	事故の発生防止	炉心に閉じ込め	原子炉容器に閉じ込め	格納容器内に閉じ込め	サイト内に閉じ込め
防止	異常発生を防止	DBAを防止	重大事故を防止	格納容器損傷を防止	放射性物質放出を防止
緩和	異常の段階で検知・収束	工学的安全施設で収束	格納容器に閉じ込めて収束	放射性物質放出を管理	敷地外緊急対応
有効性評価	原子炉計装 原子炉保護	設計基準事象発生頻度と影響度	レベル1 PRA 炉心損傷シナリオ	レベル2 PRA ソースターム CV破損シナリオ	レベル3 PRA 放射性物質放出シナリオ
性能目標	設備の信頼度目標	工学的安全系の信頼度目標	炉心冷却形状維持の信頼度目標 10 ⁻⁴ /炉年	格納容器の信頼度目標 10 ⁻⁵ /炉年	放出管理の信頼度目標Cs ¹³⁷ 100TBq 10 ⁻⁶ /年